

Тема номера: **БИОЛОГИЯ ПОЧВ**

Редактор номера **А.Л. Степанов**

**ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ
ПОЧВЕННЫХ МИКРОБИОМОВ**

В. С. Чепцов, А. А. Белов, И. В. Сотников Разнообразие бактерий, культивируемых из аридных почв и пород в условиях дефицита доступной воды // Почвоведение. 2023. № 5. С. 525-.
<https://doi.org/10.31857/S0032180X22601372>

Проведено исследование разнообразия бактерий, выделенных из почвы пустыни Негев (Израиль, образец SN2) и осадочной породы пустыни Сахара (Тунис, образец Alg). Для оценки способности бактерий к метаболизму при различных уровнях доступности влаги и для более полного выявления бактериального разнообразия культивирование проводили на средах R2A с добавлением глицерина в различных концентрациях для установления определенного уровня активности воды (A_w) в среде в диапазоне от 1.0 до 0.9 (с шагом 0.01 A_w). После инкубации уникальные морфотипы культивируемых бактерий выделяли, описывали, идентифицировали с помощью секвенирования 16S рРНК и тестировали на способность к росту в градиенте A_w в чистых культурах. После инкубации и выделения было идентифицировано и протестировано 355 штаммов. Культивируемые бактерии обнаруживали на средах с A_w 0.95 и больше. При уменьшении A_w от 1 до 0.95 численность культивируемых бактерий уменьшалась от 105 и 107 КОЕ/г в образцах SN2 и Alg соответственно до 2×10^4 КОЕ/г в обоих исследованных образцах. В результате культивирования выделили представителей 34 родов бактерий, преимущественно филума Actinobacteria; доминировали представители родов Arthrobacter, Kocuria и Pseudarthrobacter. При этом выявили 38 штаммов с низким сходством нуклеотидных последовательностей с базами данных, вероятно, являющихся представителями ранее не описанных видов родов Agrococcus, Arthrobacter, Bacillus, Brachybacterium, Cellulomonas, Conyzicola, Kocuria, Microbacterium, Okibacterium, Rathayibacter и Sphingomonas. Тестирование штаммов на способность к росту в чистой культуре в градиенте значений A_w позволило обнаружить 18 штаммов родов Arthrobacter, Kocuria, Brachybacterium, Serratia и Leucobacter, способных к росту на питательной среде с A_w 0.91. Проведенное исследование подтверждает, что пустынные почвы и породы являются депозитарием ранее не описанных видов бактерий, а также могут быть ценным источником биотехнологически перспективных штаммов.

Ключевые слова: активность воды, ксеротолерантность, актинобактерии, новые виды бактерий, пустынные почвы

А. В. Головченко, Т. А. Грачева Т. А. Семенова, А. А. Морозов, С. Р. Самигуллина, Т. В. Глухова, Л. И. Инишева Мицелиальный компонент эутрофных торфяных почв в зоне активной деструкции органического детрита // Почвоведение. 2023. № 5. С. 536-. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601232>

Проведен анализ структурных показателей (обилие, разнообразие) грибных и актиномицетных комплексов эутрофных торфяных почв в зоне основной деструкции органического детрита, представленной подстилкой (слоями L и F) и эутрофно-торфяным горизонтом (TE). Образцы отбирали в заболоченных лесах Тверской и Томской областей (черноольшанник, сосняк, березняк, смешанный лес) в летний период 2021 г. Показатели обилия мицелиальных организмов выявляли люминесцентно-микроскопическим и чашечным методами. Видовую идентификацию культивируемых представителей проводили на основании фенотипических признаков. В подстилках по сравнению с эутрофноторфяными горизонтами зафиксировано превышение длины грибного мицелия в 2–10 раз, численности культивируемых грибов на 2–3 порядка и актиномицетов на 1–2 порядка. Ферментативный слой подстилки характеризовался максимальным содержанием углерода мицелиального компонента

(3–10 мг С/г). Запасы актиномицетной биомассы в зоне основной деструкции органического детрита исследуемых почв варьировали от 23 до 60 кг/га, грибной – от 1593 до 3718 кг/га. Доля подстилки в профильном запасе мицелиальной биомассы была более весома в лиственных лесах. Из зоны основной деструкции органического детрита исследуемых почв было выделено 70 видов культивируемых грибов из 43 родов и 42 вида актиномицетов из 12 серий и 4 секций. В грибном комплексе преобладали представители родов *Penicillium*, *Talaromyces*, *Trichoderma*, в актиномицетном – рода *Streptomyces*. Подстилки не уступали эутрофно-торфяному горизонту по видовому разнообразию грибов и актиномицетов. Видовое сходство комплексов грибов подстилок и горизонта ТЕ – 0.68, комплексов актиномицетов – 0.27.

Ключевые слова: Sapric Histosols, подстилка, грибы, актиномицеты, биомасса, видовое богатство, видовое сходство

Н.А. Манучарова, М.А. Коваленко, М. Г. Алексеева, А.Д. Бабенко, А.Л. Степанов Биотехнологический потенциал гидролитического прокариотного компонента в почвах // Почвоведение. 2023. № 5. С. 550-
<https://doi.org/10.31857/S0032180X22601311>

Установлены закономерности распространения и зависимости функциональной активности метаболически активных прокариот от основных экологических факторов. В исследовании применяли молекулярно-биологические и биоинформатические подходы. Спектр исследуемых образцов включал современные почвы Волгоградской, Тульской, Московской областей, Сибири и северной части Центральной Камчатки, реликтовые местообитания Волгоградской области и Центральной Камчатки, многолетнемерзлые грунты Антарктиды, о. Кинг-Джордж.

Рассматривали воздействие антропогенных и абиогенных нагрузок на развитие прокариотного сообщества. В почвах, подверженных антропогенным или абиогенным нагрузкам, наряду с сокращением разнообразия и численности прокариот установлено увеличение количества генов, маркирующих способность сообщества к биодegradации ксенобиотиков, а также генов, кодирующих превращения азота и уровень метаболизма кофакторов и витаминов.

Бактериальный комплекс способен к нитрификации при высоком загрязнении почвы нефтью, а его роль возрастает в нижних слоях почвенного профиля. Археи играют ведущую роль в процессе нитрификации в ненарушенных почвах. Выявленные закономерности указывают на высокий метаболический потенциал прокариотного компонента рассматриваемых объектов и открывают возможности для биотехнологического использования штаммов, выделенных из реликтовых местообитаний.

Ключевые слова: бактерии, археи, функциональные гены, гидролитическое сообщество, нефть, азотный цикл

ЭКОЛОГИЯ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

И.К. Кравченко, Л.Р. Сизов, Л.В. Лысак Лабораторное исследование влияния солей аммония и лантана на окисление метана и состав микробных сообществ в дерново-подзолистой почве // Почвоведение. 2023. № 5. С. 567-
<https://doi.org/10.31857/S0032180X22601384>

Одним из перспективных подходов в решении вопросов устойчивости экосистем к стрессовым воздействиям является оценка реакции микробных сообществ почв, осуществляющих важные эколого-биосферные функции, на природные или антропогенные воздействия. В модельном эксперименте с дерново-подзолистой почвой (*Eutric Albic Retisol (Abruptic, Loamic)*) установлено ингибирующее действие аммония и стимулирующее действие лантана на окисление метана микроорганизмами почвы. Внесение аммония и лантана снижало таксономическое разнообразие бактериального сообщества почвы и изменяло его структуру: уменьшалось относительное содержание грамположительных бактерий филумов *Actinobacteriota* и *Bacillota*, тогда как доля грамотрицательных бактерий филума *Pseudomonadota* возрастала. Внесение лантана на несколько порядков увеличивает

относительное содержание в сообществе метанотрофов рода *Methylobacter* и облигатных метилотрофов рода *Methylotenera*. Результаты работы могут быть использованы для разработки подходов регуляции активности почвенного метанового фильтра и сопутствующей микробиоты.

Ключевые слова: почвенные микробные сообщества, метановый цикл, метаболическая активность, метанотрофы

А. И. Матвиенко, М. С. Громова, О. В. Меняйло Влияние внесения минерального азота и глюкозы на температурную чувствительность (Q10) минерализации органического вещества почв // Почвоведение. 2023. № 5. С. 579-. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601281>

Изучена температурная чувствительность (Q10) минерализации С в почвах двух типов: серая лесная (Phaeozems, экосистема лесная поляна) и дерново-подзолистая (Retisols, экосистема сосняк мертвопокровный). Показано, что температурная чувствительность больше на лесной поляне, чем в сосняке, и возрастает вниз по почвенному профилю. Глубина почв оказалась самым сильным фактором, определяющим вариацию Q10. Внесение азота (NH₄NO₃) увеличило Q10 в верхних горизонтах почв, а внесение глюкозы, наоборот уменьшило Q10 в обеих экосистемах. Наиболее сильно эффект внесения глюкозы проявлялся в нижних горизонтах. Совместное внесение глюкозы и азота влияло на Q10 также, как внесение только глюкозы, указывая, что доступность легкоразлагаемого субстрата – более сильный фактор, влияющий на температурную чувствительность, чем азот. Полученные данные позволяют прогнозировать изменение вклада гетеротрофной составляющей эмиссии CO₂ из почв при глобальном потеплении, увеличении поступления корневых экссудатов, фитодетрита и экзогенного азота в почву.

Ключевые слова: органический углерод, парниковые газы, цикл углерода, серые лесные (Phaeozems), дерново-подзолистые (Retisols) почвы

Д. Д. Кошелева, В.С. Чепцов, А.Л. Степанов, И.И. Толпешта, В.В. Крупская Исследование микробного состава бентонитов двух месторождений // Почвоведение. 2023. № 5. С. 586-.
<https://doi.org/10.31857/S0032180X22601360>

Бентонитовые глины обладают большой площадью удельной поверхности и большим объемом порового пространства, что определяет их высокую сорбционную способность и позволяет использовать в качестве одного из барьеров при строительстве захоронений радиационно-активных отходов. Ожидается, что глубокие геологические хранилища будут функционировать тысячи лет, поэтому актуальна проблема прогнозирования изменений, которые могут произойти с ними за это время. В процессе функционирования хранилищ бентониты могут изменять свои свойства за счет воздействия на них микроорганизмов. В работе проанализирована структура микробного сообщества бентонитов двух месторождений: 10-й Хутор (Россия) и Таганское (Казахстан) – при различных температурах (25 и 60°C) инкубации. В бентоните месторождения 10-й Хутор при инкубации при 60°C выявлено 10 филумов и 92 рода бактерий, а при 25°C – 12 филумов и 94 рода. В бентоните Таганского месторождения при температуре инкубирования 60°C выявлено 14 филумов и 87 родов, а при 25°C – 15 филумов и 123 рода. В образцах преобладали бактерии типов *Proteobacteria* и *Firmicutes*. Сделан вывод, что основным фактором, влияющим на формирование микробного сообщества в исследованных бентонитах, является температура, а не химический и минеральный состав исследованных бентонитов.

Ключевые слова: глинистые минералы, микробные сообщества, хранилища радиоактивных отходов, *Proteobacteria*, *Firmicutes*

Ping Zhu, Wenyan Liu, Zhongyuan Sun, Xinfu Bai, Jianqiang Song, Nan Wu, and Yuping Hou "Soil Bacterial Community Response to Fire Varies with Slope Aspect at Zhenshan Mountain, East China" *Eurasian Soil*

Science, (5), (2023). <https://doi.org/10.1134/S1064229322602104>

Wildfire is a crucial event in the regulation of the structure and function of forest ecosystems. The effects of fire on soil microorganisms is still poorly understood. Here, we compared soil properties and bacterial communities between burnt and unburnt soils on sunny and shady slopes 4 and 13 years after a fire in a warm temperate forest ecosystem at Zhenshan Mountain in Shandong, eastern China. Soil physicochemical properties and enzyme activity were more affected by fire than by slope aspect. Fire significantly altered bacterial β -diversity but did not affect bacterial α -diversity. Co-occurrence networks showed that fire decreased the complexity, edge number, average degree, and average clustering coefficient of the bacterial communities. Available nitrogen content was the major factor explaining the differences in bacterial communities between the burnt and unburnt samples. Moreover, the impacts of fire varied with slope aspect and recovery time. The relative abundance of Spartobacteria, Gammaproteobacteria, TK10, and JG30-KF-CM66 differed significantly between sunny and shady slopes in burnt soil, and were all significantly correlated with soil pH. Differences in soil pH mediated by slope aspect drove the variation in soil bacterial community structure at burned sites. Within constant slope aspect, the soil bacterial community in burnt soil 4 years after the fire was significantly different from that in unburnt soil, and after 13 years of recovery it was similar to that before the fire. These results indicate that the slope aspect should be considered when predicting the response of soil microbial communities to fire. Keywords: fire, slope aspect, bacterial community, pH

Г.А. Терегулова О.Н. Синёва, Н.Н. Маркелова, В.С. Садыкова, Г.В. Уваров, М.А. Коваленко, Н.А. Манучарова Оценка хитинолитической и антибиотической активности актиномицетов *Streptomyces avidinii* ina 01467 и *Micromonospora aurantiaca* ina 01468 // Почвоведение. 2023. № 5. С. 594-. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601207>

Проведена оценка антибиотической и хитинолитической активности у актиномицетов, выделенных из дерново-подзолистой почвы (Albic Retisol (Loamic)) Московской области (56°07'15" N, 37°30'54" E). На основании культурально-морфологических признаков и анализа гена 16S рРНК выделенные штаммы отнесены к *Streptomyces avidinii* INA 01467 и *Micromonospora aurantiaca* INA 01468. Оценка антибиотической активности выделенных культур актиномицетов показала, что штаммы проявляют как антибактериальную активность в отношении грамположительных бактерий, так и антифунгальную активность в отношении коллекционных штаммов грибов *Sac. cerevisiae* ИНА 01042, *C. albicans* АТСС 14053, *F. oxysporum* ВКПМ F-148. Способность к синтезу противогрибковых соединений увеличивалась при росте на среде с хитином у штамма *Streptomyces avidinii* INA 01467, в том числе в отношении фитопатогенного штамма *Fusarium oxysporum* ВКПМ F-148. С помощью метода ПЦР в реальном времени (Real-Time-PCR) было установлено наличие функциональных генов *chitA*, отвечающих за синтез ферментов хитиназы группы А, у исследуемых бактериальных штаммов *Streptomyces* и *Micromonospora*. Наибольшее количество гена обнаружено при росте на хитине у штамма *Streptomyces avidinii* INA 01467, оно достигает порядка 15×10^3 копий/мл. Результаты показали наличие у исследуемых штаммов хитиназной и антибиотической активности, в том числе в отношении фитопатогенных грибов, что позволяет использовать их в технологиях защиты растений и биоремедиации почв.

Ключевые слова: полифункциональные актиномицеты, молекулярно-биологические методы, антибиотики, хитинолитики, функциональный ген *chitA*

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

И. Г. Широких, И. А. Остерман, Д. А. Лукьянов, В. И. Марина, М. В. Бирюков, О. А. Белозерова, Е. Б. Гугля, А. А. Широких, Я. И. Назарова, Н. А. Боков, Ю. В. Закалюкина Новый продуцент боррелидина *Streptomyces rochei* 3IZ-6 и его перспективы в защите растений // Почвоведение. 2023. № 5. С. 603-. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601050>

Почвенные актиномицеты выделяли из верхнего горизонта грумусоли (Vertisols) на западном берегу оз. Кинерет в окрестности г. Тверия (Нижняя Галилея, Израиль). Проверка антибиотической активности 26 природных изолятов рода *Streptomyces* с использованием высокопроизводительного скрининга на основе двойной репортерной системы позволила выявить актинобактериальный штамм 3IZ-6, обладающий

способностью ингибировать синтез белка. Методами полифазной таксономии штамм 3IZ-6 отнесен к виду *Streptomyces rochei*. Активное вещество *S. rochei* 3IZ-6 выделяли и очищали при помощи гравитационной обращеннофазовой и высокоэффективной жидкостной хроматографии. С помощью toe-print анализа и данных масс-спектрофотометрии продуцируемый антибиотик идентифицировали как боррелидин. При совместном культивировании на твердых средах штамм 3IZ-6 способен подавлять рост фитопатогенных микроорганизмов: *Fusarium solani*, *F. sambucinum*, *Botrytis cinerea*, а также карантинного объекта *Curtobacterium flaccumfaciens*. Установлено выраженное фитотоксическое действие культуральной жидкости 3IZ-6 на семена пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L). Штамм *Streptomyces rochei* 3IZ-6 может найти применение в биотехнологии как продуцент боррелидина – ценного природного соединения с широким спектром антибиотического действия, в частности, как агент биоконтроля для защиты сельскохозяйственных растений от фитопатогенов и сорняков.

Ключевые слова: Vertisols, почвенные стрептомицеты, антибиотический скрининг, антифитопатогенное действие

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ Н.В. Костина, Н.А. Куликова, М.В. Горленко, К.А. Мазуров, О.И. Филиппова, И.В. Плющенко, И.А. Родин Влияние глифосата на биологическую активность и фитотоксичность дерновоподзолистой почвы в условиях краткосрочного модельного эксперимента // Почвоведение. 2023. № 5. С. 613-. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601293>

В модельном лабораторном эксперименте с пахотным горизонтом дерново-подзолистой почвы (Albic Retisol (Loamic)), имеющим низкое содержание органического вещества и низкую биологическую активность, установлено, что внесение глифосата приводит к кратковременному изменению интенсивности основных процессов микробной трансформации азота в почве. При инкубировании почвы с глифосатом в максимальной рекомендуемой дозе 8 л/га в течение 22 сут наблюдается рост азотфиксирующей и денитрифицирующей активности на 30–80 и 300% и снижение процесса нитрификации на 20–40%. Эффекты носят кратковременный характер и не отражают всего комплекса протекающих микробиологических процессов: на эмиссию CO₂, являющегося интегральным показателем биологической активности, влияния глифосата не обнаружено. В конце инкубирования в почве с внесенным глифосатом отмечен рост численности бактерий на 40% и снижение численности микромицетов на 70%. В целом в выбранных условиях внесение глифосата привело к выраженному снижению биологической активности почвы по сравнению с контролем. Изучение функционального биоразнообразия почвенных микробных сообществ методом мультисубстратного тестирования показало, что под действием гербицида происходит снижение устойчивости почвенного микробного сообщества, выражающееся в увеличении значения коэффициента рангового распределения спектров потребления субстратов *d*, сопровождающееся уменьшением удельной метаболической работы *W* и интегрального индекса витальности *G*. Впервые показано, что при внесении глифосата в почву с низкой биологической активностью и обеспеченностью доступным фосфором наблюдается выраженное отрицательное действие препарата на почвенные микроорганизмы, что приводит к угнетению роста растений пшеницы.

Ключевые слова: раундап, функциональное биоразнообразие микробных сообществ, токсичность, биотестирование

О.В. Орлова, А.А. Кичко, Е.Л. Чирак, А.О. Зверев, Т.О. Лисина, Е.Е. Андронов Бактериальное сообщество почвы при разложении соломы в зависимости от количества доступного органического вещества // Почвоведение. 2023. № 5. С. 626-. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601074>

Рассмотрено влияние содержания почвенного доступного органического вещества на состав и функционирование микробного сообщества при трансформации соломы ячменя в почве. Дерново-подзолистую почву (Umbric Albic Retisols (Abruptic)), слой 0–20 см, инкубировали (25°C, 60% ППВ) 4 мес. и получили модельную почву с пониженным содержанием доступного органического вещества. Провели лабораторный эксперимент с внесением соломы ячменя в нативную и модельную

почву. В динамике (0, 7, 40 и 70 сут) анализировали дыхание почв, микробную биомассу, численность микроорганизмов и таксономический состав микробного сообщества (секвенирование по 16S-rПНК). Качество органического вещества почвы оценивали по содержанию общего органического углерода (Собщ) и его фракций: доступного (Сдост), водорастворимого (Свод), лабильного. Показано, что в модельной почве вдвое снижается количество Свод и Сдост при отсутствии достоверных различий по содержанию Собщ. Кроме того, отмечено видимое ухудшение агрегатной структуры почвы и ускорение в ней трансформации соломы, на 25% больше, чем в нативной. На таксономический состав бактериального сообщества почвы влияли количество в почве исходного доступного органического вещества, внесение соломы и время инкубации. Уменьшение содержания доступного органического вещества изменяло состав микробного сообщества: уменьшались доли филумов Acidobacteria и Firmicutes, возрастали доли Actinobacteria, Bacteroidetes, Chloroflexi, Planctomycetes и архей. Выявлено, что доминирующая часть (50% от суммы) микробного сообщества обедненной почвы характеризуется большим разнообразием и олиготрофностью. Предлагаются индикаторы для сравнения почв по олиготрофности микробного сообщества на основе таксономического состава.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, Umbric Albic Retisols (Abruptic), сукцессия микробного сообщества, олиготрофная почва, 16S rПНК, дыхание почвы

Никитин Д.А., Семенов М.В., Ксенофонтова Н.А., Тхакахова А.К., Русакова И.В., Лукин С.М. Влияние внесения соломы на состояние микробиома дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 2023. № 5. С. 640-. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601189>

Потеря органического вещества почвы при сельскохозяйственном использовании земель оказывает негативное влияние на ее свойства и является одним из серьезных факторов роста концентрации CO₂ в атмосфере. Доступным способом одновременного восстановления запасов почвенного органического вещества и депонирования секвестрированного углерода является внесение соломы в почву. Целью исследования была оценка влияния соломы на количественные показатели различных групп микроорганизмов дерново-подзолистой почвы (Albic Retisol) в рамках длительного полевого эксперимента. Многократное (суммарно 42 т/га) внесение соломы зерновых и зернобобовых культур в 1.25–2 раза повышало содержание углерода микробной биомассы (Смик) в пахотном слое, наибольший рост биомассы отмечен в вариантах без удобрений. Базальное дыхание и дыхательный коэффициент (qCO₂) увеличивались в ряду: контроль < NPK < NPK + солома < солома. Применение минеральных удобрений снижало qCO₂, биомассу грибов и численность копий генов архей в 1.5–3.0 раза. Соотношение грибы/бактерии по методу люминесцентной микроскопии изменялось от 4 до 15, а по результатам количественной ПЦР – от 0.17 до 0.33. Минимальные значения соотношений грибы/бактерии характерны для вариантов с внесением минеральных удобрений, а максимальные – с заделкой соломы. Таким образом, систематическое поступление свежего органического вещества соломы является важным технологическим приемом для повышения микробиологической активности почвы и нивелирования негативного влияния минеральных удобрений на почвенную микробиоту.

Ключевые слова: углерод микробной биомассы, базальное дыхание, соотношение грибы/бактерии, количественная ПЦР, минеральные удобрения

ПОЧВЕННЫЙ МИКРОБИОМ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Л. В. Лысак, Шоба С.А., Т. В. Прокофьева, А. М. Глушакова, Н. В. Гончарова, А. А. Белова Обилие и разнообразие прокариотных сообществ пылеаэрозоля и городских почв на территории Москвы // Почвоведение. 2023. № 5. С. 654-. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601359>

Получена комплексная (количественная и качественная) характеристика прокариотных сообществ твердых атмосферных выпадений (пылеаэрозоля) и образцов почв на территории г. Москвы на участках с разной интенсивностью антропогенной нагрузки. Общая численность бактерий в исследованных

образцах твердых атмосферных выпадений (ТАВ) была меньше численности бактерий в образцах почв; актиномицетный мицелий в образцах ТАВ не обнаружен, хотя отмечался в образцах почв. Численность сапротрофных культивируемых бактерий в образцах ТАВ была на порядок меньше, чем в поверхностных горизонтах урбаноземов и реплантозема, отобранных на тех же участках. Среди культивируемых бактерий в пылеаэрозолях преобладали бактерии рода *Micrococcus*, в почвах преобладали представители филума *Proteobacteria*. В образцах ТАВ обнаружены представители семейства *Enterobacteriaceae* среди которых имеются виды, являющиеся потенциальными патогенами человека. Максимальное видовое разнообразие бактерий семейства *Enterobacteriaceae* зафиксировано в образцах ТАВ, отобранных на участках с повышенной антропогенной и транспортной нагрузкой. Санитарно-показательная бактерия *Escherichia coli* обнаружена во всех образцах ТАВ, ее содержание варьировало от 10 до 100 КОЕ/г, что по степени эпидемической опасности характеризует ТАВ как умеренно опасные. Экологические индексы, рассчитанные для прокариотных сообществ *in situ* (баркодинг гена 16S рРНК), свидетельствуют о меньшем таксономическом разнообразии прокариотных сообществ ТАВ по сравнению с сообществами близко расположенных городских почв.

Ключевые слова: урбанозем (Urbic Technosol), реплантозем (Urbic Technosol), численность бактерий, ДНК-метабаркодинг, санитарное-состояние почв, экологические функции почв, атмосферный пылеаэрозоль

Е.В. Чернышева, Ф. Форназьер, А.В. Борисов Коэффициенты пересчета содержания двухцепочечной ДНК в углерод микробной биомассы почв: физико-химические аспекты и влияние антропогенной деятельности // Почвоведение. 2023. № 5. С. 664-. <https://doi.org/10.31857/S0032180X2260127X>

Проведено исследование взаимосвязи концентрации почвенной ДНК и микробной биомассы, определенной методом субстрат-индуцированного дыхания, в широком ряду почв, различающихся по гранулометрическому составу, кислотности, содержанию органического углерода, микробной биомассе, различных по характеру хозяйственного использования в древности и в настоящее время. В качестве объектов исследования выбраны темногумусовые почвы сельскохозяйственных угодий на Центральном Кавказе, стратоземы земледельческих террас позднего средневековья – нового времени в среднегорной зоне Восточного Кавказа, каштановые почвы и солонцы на участках с различной интенсивностью выпаса в сухостепной зоне (Ростовская область). Показано, что определение концентрации почвенной двухцепочечной ДНК является надежным и простым методом определения микробной биомассы в почвах со средне-, тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, содержанием органического углерода не более 2%, микробной биомассы не более 700 мкг С/г сухой почвы. Пересчетный коэффициент $F_{ДНК}$ в таких почвах варьировал в узком диапазоне от 5.24 до 5.41. В почвах с высоким содержанием органического углерода наблюдалось завышение $F_{ДНК}$ (6.56 и 10.56) из-за присутствия устойчивой к разложению внеклеточной ДНК. Почва легкого гранулометрического состава на песчаниках характеризовалась меньшей степенью сохранности ДНК, что привело к уменьшению определяемой микробной биомассы ($F_{ДНК} = 4.22$). Пониженный коэффициент пересчета $F_{ДНК}$ (4.78) выявлен в почвах естественных пастбищ в сухостепной зоне, что подтверждает известные ограничения возможностей использования метода субстрат-индуцированного дыхания в щелочных почвах. Хозяйственная деятельность не оказывает значимого влияния на взаимосвязь количества почвенной ДНК и микробной биомассы.

Ключевые слова: субстрат-индуцированное дыхание, почвенная ДНК, выпас, распашка, почвообразующие породы, древнее и современное хозяйственное использование

М.В. Корнейкова, Д.А. Никитин Почвенный микробиом в зоне воздействия выбросов горнометаллургического комбината Печенганикель (Мурманская область) // Почвоведение. 2023. № 5. С. 676-688. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600883>

Проанализированы параметры микробиома Al-Fe-гумусовых подзолов на песчаной морене (Albic

Podzols) по градиенту загрязнения соединениями меди, никеля и другими металлами на различном расстоянии (3, 16, 30, 50 км) от горно-металлургического комбината “Печенганикель” (Мурманская область). Проведена оценка запасов и структуры биомассы прокариот и грибов методом люминесцентной микроскопии; определено содержание копий рибосомальных генов микроорганизмов методом полимеразной цепной реакции в реальном времени; изучено таксономическое разнообразие и численность культивируемых почвенных микромицетов. Выявлено увеличение количества копий рибосомальных генов бактерий, архей и грибов вблизи источника выбросов по сравнению с удаленными участками. На всех участках наибольшее количество копий генов отмечено для бактерий от 3.21×10^{10} до 12×10^{10} копий генов/г почвы. Для грибов и архей их количество изменялось в пределах от 0.53×10^{10} до 1.59×10^{10} и от 0.55×10^{10} до 11.41×10^{10} копий генов/г почвы соответственно. Минимум рибосомальных генов всех групп микроорганизмов: архей, бактерии и грибы – выявлен в 50 км от комбината, а максимум – в 3–16 км от источника выбросов. Численность прокариот изменялась от 1.04×10^8 до 8.6×10^8 кл./г почвы, а биомасса – от 0.2 до 18.3 мкг/г почвы. Биомасса грибов варьировала от 122 до 572 мкг/г почвы. Отмечено существенное снижение биомассы всех групп микроорганизмов вблизи завода. Мицелий и споры грибов на всех участках преимущественно представлены мелкими формами диаметром 2–3 мкм. Длина грибного мицелия изменялась от 51.2 м/г вблизи комбината до 397 м/г на удаленных участках, при этом закономерностей в его распределении по градиенту загрязнения не выявлено. Отмечено сокращение разнообразия культивируемых почвенных микромицетов на уровне родов и вышестоящих таксонов по градиенту загрязнения выбросами завода. Выявлена смена структуры сообществ с полидоминантной (фоновый участок) на монодоминантную (вблизи завода). Вид *Penicillium raistrickii* доминировал на всех участках. В зоне 16 км от источника выбросов доминировали представители *Aureobasidium pullulans* и *Trichoderma viride* (16 км), темноокрашенные дрожжи *Torula lucifuga* (3 км). На фоновом участке к доминирующим относились представители порядков *Mucorales* и *Umbelopsidales*.

Ключевые слова: тяжелые металлы, бактерии, архей, микромицеты, биомасса микроорганизмов, количественная ПЦР